

CONVERSOR DE FREQUÊNCIA COM CLP PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO: CARACTERIZAÇÃO OPERACIONAL

Teddy Arturo Flores Meléndez – tmelendez@iee.usp.br

Maria Cristina Fedrizzi – fedrizzi@iee.usp.br

Roberto Zilles – zilles@iee.usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente, Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos

Resumo. O artigo apresenta a caracterização operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento usando conversor de frequência com CLP (Controlador Lógico Programável) e suas vantagens (apresenta algoritmo de controle de tensão fixa e MPPT do gerador fotovoltaico e proteção de poço seco mediante monitoração da frequência e torque do motor elétrico) em relação ao conversor de frequência convencional sem CLP, ambos de fabricação nacional. O desenvolvimento da caracterização é resultado do aprendizado adquirido em projetos piloto e concretizado pela parceria entre o Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos da Universidade de São Paulo e a empresa Weg.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico de Bombeamento, Conversor de Frequência, Controlador Lógico Programável CLP.

1. INTRODUÇÃO

O bombeamento fotovoltaico já se constitui uma opção madura tecnicamente e vem sendo utilizado em muitos países, principalmente em locais que não contam com acesso à rede elétrica. Há casos, no entanto, em que são utilizados de forma conjugada com a rede elétrica, como por exemplo, para a irrigação em locais onde se pratica tarifa elétrica diferenciada, mais cara em horário diurno, ou na compensação de potência contratada.

No Brasil, os primeiros sistemas fotovoltaicos de bombeamento que se tem registro foram instalados no início da década de 1980, utilizando motores em corrente contínua (Fedrizzi e Sauer, 2002). A Figura 1 apresenta um sistema fotovoltaico de bombeamento de 600 Wp instalado em 1981 no município de Caicó - RN, pela empresa brasileira Heliodinâmica. Esta empresa disponibilizava o sistema de bombeamento completo, fabricava os módulos fotovoltaicos e fazia as adaptações necessárias (quadro elétrico) para a utilização das motobombas adquiridas no mercado nacional. A empresa encerrou suas atividades em meados da década de 1990 e a partir daí, por muitos anos os sistemas fotovoltaicos de bombeamento no país passaram a ser importados.



Figura 1 – Sistema fotovoltaico de bombeamento de 600 Wp instalado em 1981 (Fonte: Heliodinâmica).

Contabilizando os 3.291 sistemas elencados até 2003 (Fedrizzi, 2003) e as informações levantadas a partir de então, estima-se que mais de 4.000 sistemas tenham sido implantados no Brasil, principalmente através de programas/projetos institucionais de cunho social e uso coletivo, com financiamento a fundo perdido. Entretanto, apesar do elevado número de sistemas instalados no país, grande parte deles encontra-se desativado por problemas de manutenção e reposição de equipamentos. Esses problemas se devem, em grande medida, ao fato de serem equipamentos importados, mais caros e de difícil aquisição no mercado nacional. Constata-se, também, que a maior

parte dos problemas não ocorrem com o gerador fotovoltaico, mas com outros elementos do sistema, como a motobomba e o condicionamento de potência (Fedrizzi, 2003).

Visando reduzir a dependência de equipamentos exclusivos para uso fotovoltaico e baixar os custos de aquisição e manutenção desses equipamentos, grupos de pesquisa têm trabalhado na utilização de conversores de frequência para o condicionamento de potência de motobombas elétricas convencionais para uso fotovoltaico (Alonso-Abella et al., 1997; Alonso-Abella et al., 2003; Brito e Zilles, 2004).

A partir dos estudos realizados por Alonso-Abella (1997 e 2003), configurações e parametrizações de conversores de frequência para sistemas fotovoltaicos de bombeamento foram desenvolvidas e avaliadas por Brito (2006) e sistematizadas por Brito e Zilles (2006). Trata-se de uma configuração/parametrização de um sistema de geração fotovoltaica conectado diretamente a um conversor de frequência alimentando um conjunto motobomba trifásico (motor de indução + bomba centrífuga), (Fedrizzi et al., 2010). Esta configuração foi difundida pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (LSF-IEE/USP), e implementada em alguns projetos piloto. As primeiras implantações foram realizadas utilizando o conversor de frequência CFW08plus, da empresa WEG.

O CFW08plus requer componentes eletrônicos adicionais para controlar a tensão de operação do gerador fotovoltaico e apresenta maior complexidade quando implementada uma estratégia de seguimento do ponto de máxima potência (MPPT). Além disso, não é possível programar a proteção de poço seco usando apenas a parametrização, pois requer sensores e controles adicionais. Essas limitações foram resolvidas recentemente pela WEG através do conversor de frequência com Controlador Lógico Programável (CLP), CFW500 (WEG, 2015), no qual foi incorporada a “opção solar” baseada nas experiências para o bombeamento fotovoltaico adquiridas com o conversor sem CLP, CFW08plus, desenvolvidas no LSF-IEE/USP. A Figura 2 mostra quadros de condicionamento de potência de sistemas fotovoltaicos de bombeamento com o CFW08plus e com o CFW500, respectivamente.



Figura 2 – Quadros de condicionamento de potência para sistemas fotovoltaicos de bombeamento.

Este trabalho apresenta a caracterização operacional do conversor de frequência CFW500 e as vantagens em relação ao conversor de frequência convencional, CFW08plus.

2. CONVERSOR DE FREQUÊNCIA SEM CLP

O conversor de frequência é o dispositivo que gerencia o acoplamento entre o gerador fotovoltaico e o conjunto motobomba, ele deve ser capaz de manter a tensão de entrada próximo do ponto de máxima potência do gerador fotovoltaico (MPP). Esse controle é realizado pela função PID (*proporcional integral derivativo*) que atua na frequência de saída e, para tanto, é necessário que o PID controle a tensão de operação do gerador fotovoltaico realizando sucessivas comparações com a tensão de *set point* (valor desejado). O PID recebe uma realimentação da variável de processo através de um sinal de tensão ou corrente vinda de um componente eletrônico instalado externamente, por exemplo, um divisor de tensão (Alonso-Abella et al., 2003; Brito e Zilles, 2006).

O CFW08plus pode operar em tensão constante ou com rastreador do ponto de máxima potência. No primeiro caso requer um divisor de tensão e no segundo, um circuito mais complexo que possibilita o rastreamento do ponto de máxima potência do gerador fotovoltaico (Driemeier e Zilles, 2010), Figura 3.

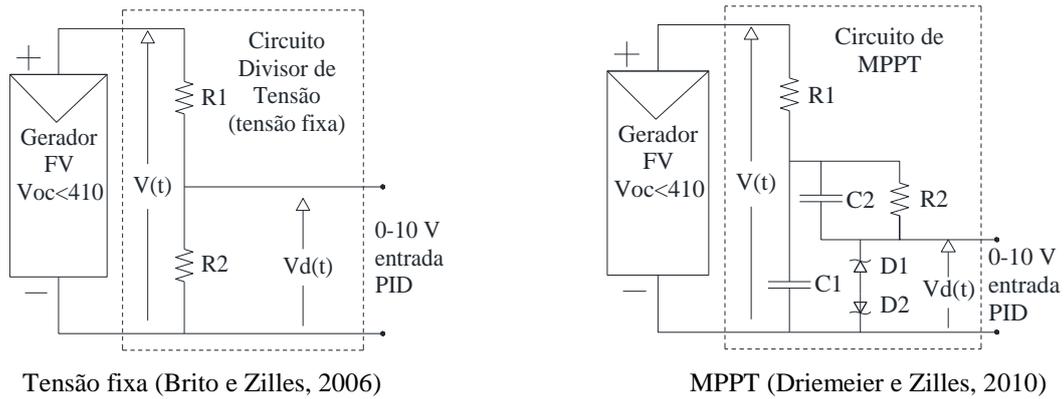


Figura 3 – Circuito eletrônico externo: Tensão fixa e MPPT.

Uma boa operação do conversor de frequência requer inúmeros ajustes como o tempo de rampa de aceleração e desaceleração; funções das entradas e saídas, analógicas e digitais; e características elétricas do motor (tensão, corrente e frequência nominal). A parametrização de controle do motor pode ser realizada mediante duas opções, controle escalar para bombas centrífugas e controle vetorial para bombas de deslocamento positivo.

A incorporação da proteção de poço seco no CFW08plus pode ser feita através de um sensor de nível de água instalado no poço e ligado a uma entrada digital, mas isso torna o sistema fotovoltaico de bombeamento menos confiável em casos de falha do sensor, além disso, o CFW08plus apresenta limitações com relação à implementação da proteção através do monitoramento da frequência e torque do motor em condições de vazio.

3. CONVERSOR DE FREQUÊNCIA COM CLP

Em um CLP podem ser inseridos algoritmos de controle de tensão fixa e rastreamento do ponto de máxima potência, e proteção de poço seco; portanto, o uso de CLP associado com o conversor de frequência em sistemas fotovoltaicos de bombeamento resolve a questão dos problemas inerentes aos circuitos adicionais e à proteção por poço seco (Fernandez-Ramos et al., 2010).

A Figura 4 apresenta o diagrama de blocos das opções tensão fixa e MPPT incorporados no CFW500.

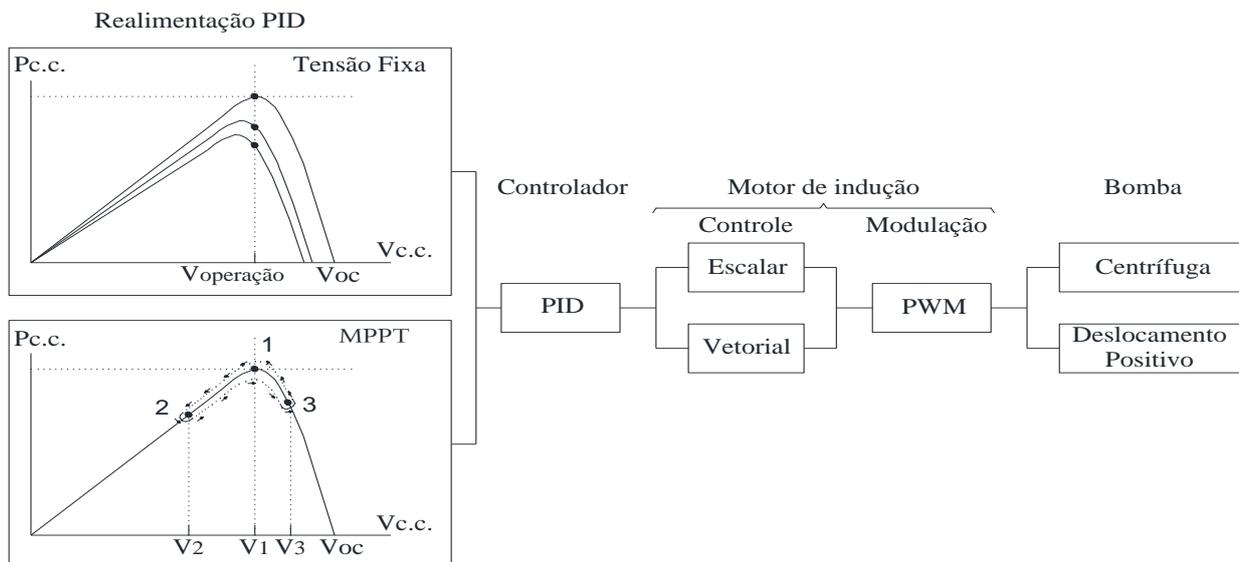


Figura 4 – Diagrama de blocos de operação do CFW500.
Fonte: adaptado de WEG, 2015.

Para a detecção do poço seco o CFW500 monitora duas variáveis, frequência de rotação e torque do motor. A proteção atuará quando a frequência for maior do que a nominal e torque muito baixo, ambos pré-programados. Nessas condições a operação do motor é desabilitada e é acionado um temporizador que, transcorrido o tempo pré-programado

o sistema volta a funcionar. O controle para o reservatório cheio é feito através de uma boia de nível ligada a uma entrada digital configurada para habilitar ou desabilitar o funcionamento do motor.

4. CARACTERIZAÇÃO OPERACIONAL DO CFW500

Para a caracterização operacional do CFW500 foi utilizado um gerador fotovoltaico de 1.200 Wp ($I_{sc}=4,5$ A; $V_{oc}=417$ V; $I_m=4$ A; $V_m=300$ V) e uma motobomba centrífuga submersa de 1 CV e 8 estágios. Os ensaios foram realizados na bancada de teste operacional de sistemas fotovoltaicos de bombeamento do LSF-IEE/USP (Brito et al., 2007) para um turno de bombeamento (6:00 às 17:00 h), a uma altura manométrica de 40 m.c.a. A tensão escolhida para a operação em tensão fixa foi de 295 V e para a estratégia de MPPT se parametrizou duas faixas de rastreamento de tensão, 260 a 300 V e 280 a 320 V, respectivamente.

Na Figura 5 se observa que a tensão se manteve constante (295 V) ao longo do turno de bombeamento e nas Figuras 6 e 7 se observa a tensão de operação nas condições de MPPT. Para a parametrização, 260 a 300 V, a tensão de MPPT se manteve na faixa de 260 a 280 V, e para 280 a 320 V, a tensão de MPPT se manteve na faixa de 280 a 290 V.

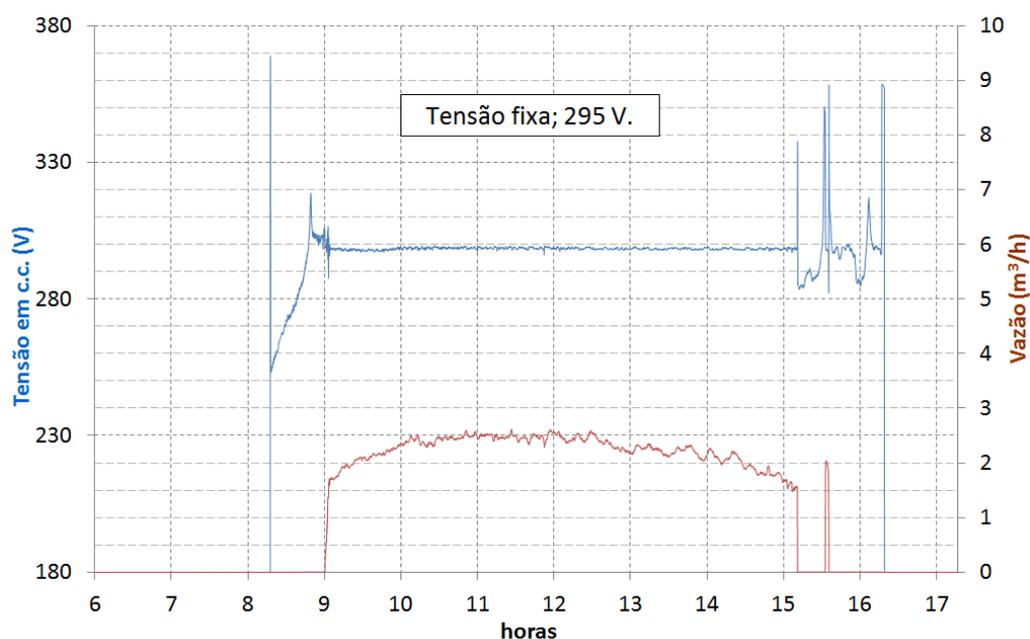


Figura 5 – Teste operacional - tensão fixa.

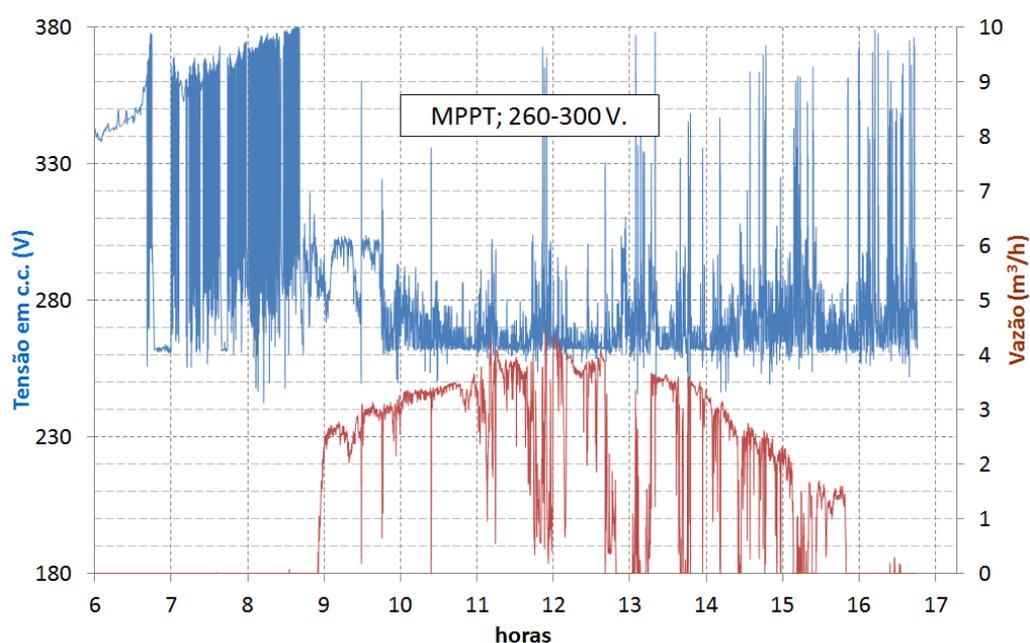


Figura 6 – Teste operacional - MPPT (260-300 V)

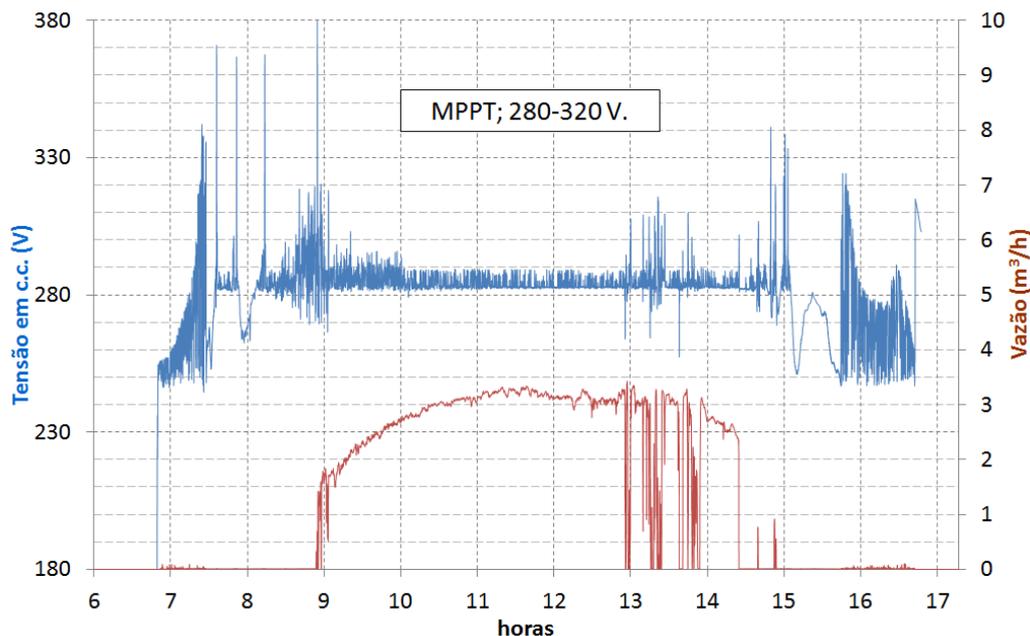


Figura 7 – Teste operacional - MPPT (280-320 V)

A Figura 8 apresenta a curva I x V do gerador fotovoltaico nas condições padrão ($T_{cel}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e irradiância 1.000 W/m^2) e em condições de temperatura de célula de $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ e irradiância de 997 W/m^2 .

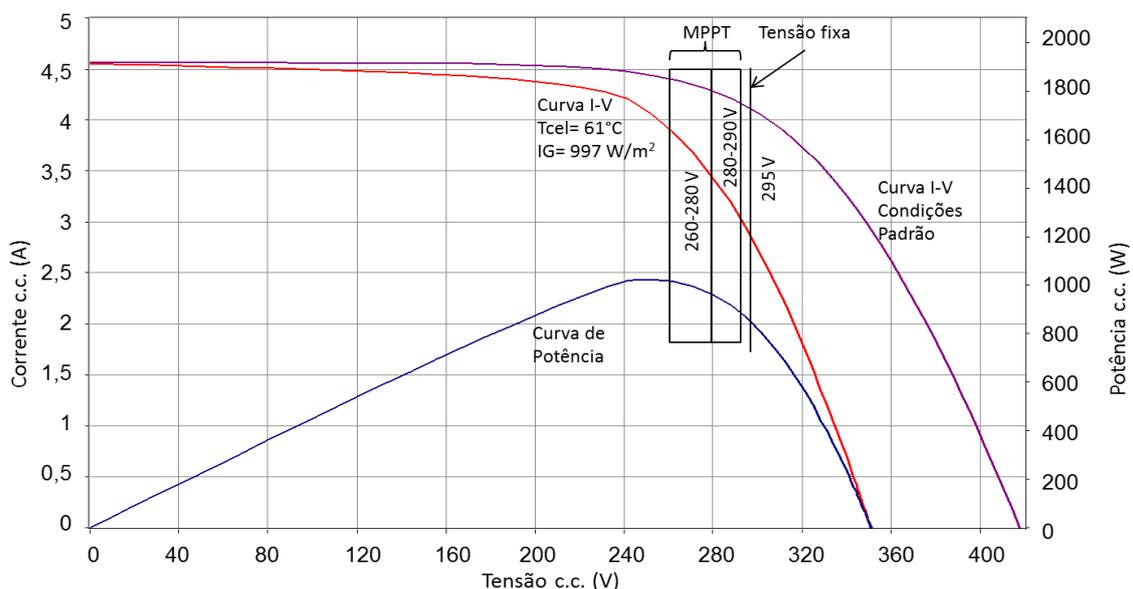


Figura 8 – Curva I-V do arranjo fotovoltaico em STC e em condições de: $IG=997\text{ W/m}^2$; $T_{cel}=61\text{ }^{\circ}\text{C}$; $I_{sc}=4,55\text{ A}$; $V_{oc}=351\text{ V}$.

A Tabela 1 apresenta os resultados de vazão diária do sistema fotovoltaico de bombeamento com CFW500 para as duas estratégias de operação, tensão fixa e MPPT. Portanto, com uma adequada seleção de faixa de tensão de operação pode-se melhorar a produção de água, Figura 9.

Tabela 1 – Vazão diária do sistema fotovoltaico de bombeamento com o CFW500, para 40 m.c.a.

Estratégia de operação	Irradiação global ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$)	Vazão (m^3)
Tensão fixa	5,43	13,85
MPPT (280-320 V)	4,91	14,83
MPPT (260-300 V)	5,75	17,06

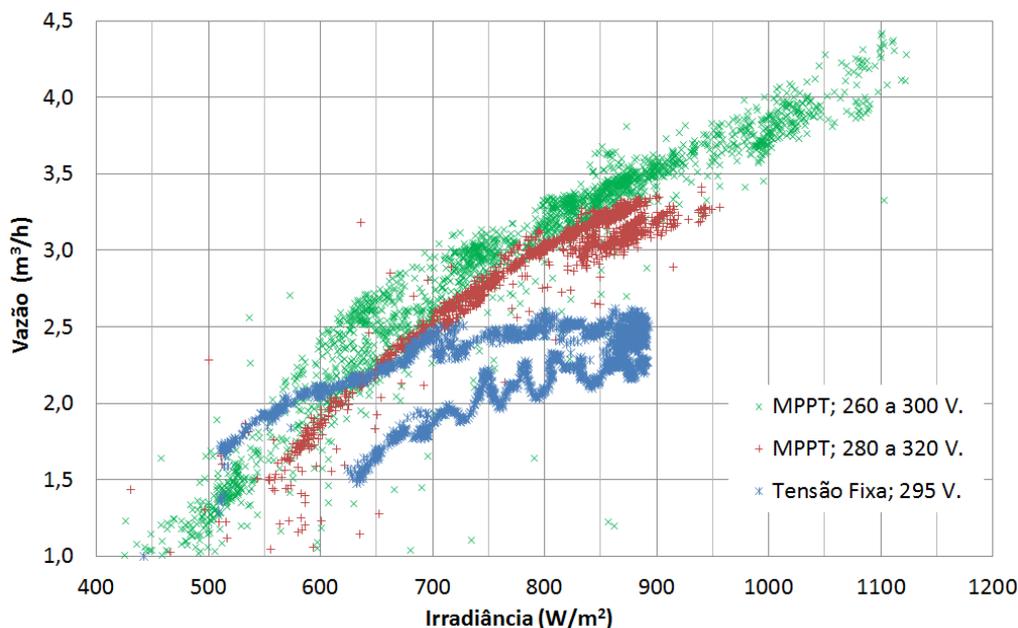


Figura 9 – Vazão instantânea para as duas estratégias de operação, tensão fixa e MPPT.

5. CONCLUSÕES

O conversor de frequência CFW500 com CLP incorporado tem a vantagem de não necessitar componentes eletrônicos externos. A operação com MPPT para as duas faixas de tensão selecionadas oferece melhor desempenho em relação à tensão fixa. A proteção de poço seco, através do monitoramento da frequência e torque do motor sem necessidade de usar sensores é uma vantagem relevante em relação aos conversores convencionais. Portanto, o conversor de frequência CFW500 é uma alternativa competitiva e que elimina as principais dificuldades associadas com o uso, parametrização e necessidade de circuito externo do CFW08plus, para operacionalização em sistemas fotovoltaicos de bombeamento. O potencial de aplicação é grande e espera-se que sua difusão, associada ao uso de motobombas e módulos fotovoltaicos fabricados no país ocorra nos próximos anos. Situação esta que permitirá a implementação de sistemas com elevado grau de nacionalização como o que tínhamos nos primeiros sistemas implementados na década 1980.

Agradecimentos

Os autores manifestam seu agradecimento à WEG Drives & Controls pela incorporação das funcionalidades demandadas por sistemas fotovoltaicos de bombeamento no CFW500 e ao Engenheiro Martin Brand pela frutífera cooperação e apoio.

REFERÊNCIAS

- Alonso Abella, M., Chenlo, F., Blanco, J., Impedance matching and new use of speed controllers in PV pumping systems. 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Espanha, pp 2276-2279, 1997.
- Alonso Abella, M., Lorenzo, E., Chenlo, F., PV water pumping systems based on standard frequency converters. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 2003; 11: 179-191.
- Brito, A. U., Zilles, R., Conversores de frequência, uma solução para diminuir a dependência aos equipamentos importados em aplicações de bombeamento fotovoltaico In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 1-8, 2004, Itajubá.
- Brito, A.U., Otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de conversores de frequência comerciais para acionar bombas centrífugas, Tese de Doutorado, PPGE, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- Brito, A.U., Zilles R., Systematized procedure for parameter characterization of a variable-speed drive used in photovoltaic pumping applications, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2006; 14: 249-260.
- Brito, A.U., Fedrizzi, M.C., Zilles, R., PV Pumping Systems: A useful tool to check operational performance, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2007; 15: 41-49.
- Driemeier, C., Zilles R., Six-element circuit for maximum power point tracking in photovoltaic-motor systems with variable-frequency drives, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2010, 18: 107-114.

- Fedrizzi, M. C., Sauer, I. L., Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos, IV Encontro de Energia no Meio Rural - AGRENER 2002, Campinas, 2002.
- Fedrizzi, M. C., Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições aprendidas e procedimentos para potencializar sua difusão, Tese de Doutorado, PPGE, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- Fedrizzi, M. C., Brito, A. U., Meléndez T. A., Zilles, R., Condicionamento de potência e motobombas nacionais em sistemas fotovoltaicos de bombeamento, III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém, 2010.
- Fernández-Ramos, J., Narvarte-Fernández, L., Poza-Saura, F., Improvement of photovoltaic pumping systems based on standard frequency converters by means of programmable logic controllers, Solar Energy, 2010; 84: 101-109.
- WEG, Pump genius solar - Manual beta do usuário para instalação e parametrização, WEG, 2015.

VARIABLE SPEED DRIVE WITH PLC FOR PHOTOVOLTAIC PUMPING SYSTEMS: OPERATING CHARACTERISTICS

Abstract. *This article presents the operating characteristics of a photovoltaic pumping system using Variable Speed Drive with PLC (Programmable Logic Controller) and its advantages (MPPT and fixed voltage algorithms control for PV systems voltage operation and empty well protection through frequency and torque monitoring of electric machine) over standard frequency converters without PLC, both national manufacturer. The development of characterization is the result of knowledge acquired in pilot projects and implemented through a partnership between the Photovoltaics Laboratory of the University of São Paulo and the Weg industry.*

Key words: *Photovoltaic Pumping Systems, Variable Speed Drive, PLC Programmable Logic Controller.*